

**УДК 621.396**

*М.С.Воловоденко, студентка групи ПК-71мп*  
Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського

## **ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОСТРУМОВГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТРУБОК ТЕПЛООБМІННИКІВ**

**Анотація.** Проаналізовано теплообінні трубки парогенераторів АЕС щодо можливості їх контролю вихрострумовим методом. Розглянуто методику опрацювання сигналів ВСК, яка ґрунтується на визначенні фазових характеристик сигналів у сукупності з їх статистичним аналізом. Наведено основні розрахункові формули для визначення фазових характеристик сигналів ВСК. Проаналізовано та викладено результати дослідження. Зроблено висновки щодо напрямку подальшої роботи

**Ключові слова:** вихрострумовий контроль, дискретна фазова характеристика, дефектоскопія.

### **ВСТУП**

Одним з важливих вузлів атомних електростанцій (АЕС) є парогенератори(ПГ). Їх надійність суттєво впливає на роботу всієї АЕС, тому завдання їх періодичного контролю є актуальним завданням забезпечення безаварійної роботи АЕС. Складність його вирішення зумовлена особливостями формування сигналів від дефектів (мала глибина модуляції параметрів сигналів) та конструкцією ПГ (трубки знаходяться у важкодоступному місці).

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ І МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ**

У роботі [1] виконано аналіз об'єкту контролю (ОК) - теплообмінних трубок парогенератора на предмет основних дефектів, що виникають в ході їх експлуатації. В статті В. М. Учаніна [2] наведені результати експериментів з визначення селективності контролю тонкостінних трубок мініатюрним вихрострумовим датчиком. Зокрема відзначено, що найкращу чутливість до дефекту типу тріщина показав мініатюрний варіант вихрострумового перетворювача(ВСП) подвійного диференціювання [3], який має достатньо високу чутливість і роздільну здатність в поєднанні з малими габаритами. У цьому ВСП всі обмотки перетворювача мають феритові осердя діаметром 0,75 мм з початковою магнітною проникністю матеріалу осердя 2300. Збуджувальна і вимірювальна обмотки намотані проводом діаметром 0,06 мм у два шари (20 і 15 витків – збуджувальна обмотка, 25 і 23 витки – вимірювальна обмотка). Діаметр ВСП складає 2,8...3,0 мм, що дозволяє за необхідності монтувати його на роторі обертальних зондів. Для вибору оптимальної робочої частоти сигнали ВСП досліджували на різних робочих частотах у діапазоні від 50 до 500 кГц на дефекті з максимальною глибиною залягання 1,2 мм. Найвища чутливість ВСП досягалась на робочій частоті 200 кГц.

В статті В. Щукіна та Є. Луніна [4] розкрито питання розроблення алгоритму виділення сигналів від дефектів під дистанціонуючими ґратами за допомогою аналізу спектрограм за використання вейвлет перетворення. Цей метод є складним для аналізу інформативних сигналів, їх параметрів та фізичної інтерпретації отриманих результатів.

Загалом більшість відомих методів опрацювання сигналів вихрострумowego контролю (ВСК) орієнтовано на використання їх амплітудних характеристик і не використовує інформації, що міститься в фазових характеристиках.

Метою роботи є підтвердження можливості використання вихрострумowego методу для обстеження теплообмінних трубок під час експлуатаційного планового контролю, аналіз методів обробки сигналів та вибір методу опрацювання сигналів ВСП.

## **РЕЗУЛЬТАТ ДОСЛІДЖЕННЯ**

В порівнянні з іншими методами контролю вихрострумовой метод має певні переваги, зокрема:

- можливість доступу до важкодоступних ділянок ОК за рахунок використання мініатюрних датчиків;
- можливість контролю труб великої протяжності;
- можливість контролю об'єкту в складі конструкції;
- відсутність необхідності використання контактних речовин для забезпечення контролю;
- відсутність необхідності очищати ОК після проведення контролю;
- висока вірогідність отриманих результатів контролю.

Для вибору режимів роботи основним визначальним фактором є необхідність контролю двох основних видів дефектів – тріщин і відхилення товщини стінки труби від номінального значення.

Зокрема, для забезпечення контролю товщини стінки використовується накладний вихрострумовой датчик з абсолютним включенням вимірюваних обмоток, а для контролю дефектів – з диференціальним включенням обмоток. Зміна режимів роботи може відбуватись комутацією вказаних обмоток перетворювача.

Пропонується в один прохід повної довжини ОК вмикати перший режим, а впродовж зворотного ходу використовувати режим контролю товщини труби.

З метою підвищення вірогідності виявлення сигналів дефектів запропоновано комбінувати амплітудний та фазовий методи опрацювання сигналів ВСП. Для випадку, коли сигнал ВСП перевищує шум більше ніж в 5 разів рекомендовано використовувати амплітудний метод, в протилежному випадку доцільно використовувати фазовий метод на основі оцінювання і аналізу R-статистики[5].

Методика опрацювання сигналів ВСК амплітудним і фазовим методом ґрунтується на спільній методологічній основі – дискретному перетворенню Гільберта сигналів. Ця методика передбачає наступні етапи[5]:

визначення дискретного перетворення Гільберта сигналу  $u[j]$

$$\hat{u}[j] = H[u[j]] \quad (1)$$

де  $H$ – оператор дискретного перетворення Гільберта.

2) визначення дискретної фазової характеристики сигналу:

$$\Phi[j] = \arg \dot{z}[j] = \arctg \frac{\hat{u}[j]}{u[j]} + \frac{\pi}{2} \left\{ 2 - \text{sign } \hat{u}[j] (1 + \text{sign } u[j]) \right\} + 2\pi K[u[j], \hat{u}[j]]; \quad (2)$$

де  $\text{sign}$  – знакова функція;

$K$  – оператор усунення розривів фазової характеристики сигналу.

3) визначення дискретної амплітудної характеристики сигналу проводиться за використанням такої формули:

$$U[j] = \sqrt{\hat{u}^2[j] + u^2[j]} \quad (3)$$

3) визначення різниці дискретної фазової характеристики (2) та ФХС гармонічного сигналу збудження частоти  $f$

$$\Delta\varphi'[j] = \Phi[j] - 2\pi f j T_{\delta}. \quad (4)$$

де  $T_{\delta}$  – період дискретизації сигналу;

4) визначення  $R$ -статистики [4] під час ковзного опрацювання послідовності:

$$r = \sqrt{C^2 + S^2} \quad (5)$$

де  $C = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \cos \varphi[j];$

$$S = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sin \varphi[j];$$

$N$  – апертура ковзного вікна.

На ділянках сигналу де відсутня модуляція його фази (дефект відсутній)  $R$ -статистика наближається до 1, а на ділянках з модуляцією зменшується. Ця ознака є статистично-стійкою і інваріантною до початкової фази сигналу.

У випадку реалізації амплітудного методу рішення щодо наявності дефекту приймається за результатами порівняльного аналізу послідовностей (3) і порогового рівня  $R$ -статистики, які визначаються на етапі навчання системи. Для фазового методу рішення приймається на основі порівняння  $R$ -статистики з відповідним пороговим рівнем.

Така комбінація амплітудно-фазового методу забезпечує підвищення вірогідності контролю в широкому діапазоні зміни відношення сигнал/шум.

## ВИСНОВКИ

В доповіді розглянуто доцільність використання вихрострумового методу контролю теплообмінних трубок ПГ АЕС на предмет наявності тріщин та стоншення товщини труби.

Запропоновано з метою підвищення вірогідності виявлення дефектів комбінувати амплітудний і фазовий методи аналізу сигналів ВСП. Амплітудні і фазові характеристики сигналу визначаються через перетворення Гільберта. Фазова характеристика є основою для визначення  $R$ -статистики за якою приймаються рішення щодо наявності дефекту.

Отримані результати можуть бути використані в розробках засобів вихрострумowego контролю виробів різного призначення

Окрім підвищення вірогідності виявлення дефектів статистичне опрацювання фазових даних дозволяє зменшити мінімальний розмір дефектів, що можуть бути виявлені.

Подальші дослідження задачі контролю трубок ПГ доцільно спрямувати на проведення модельних експериментів з метою обґрунтування режимів реалізації вихрострумowego контролю. Розглядається також питання розширення діапазону ОК, з використанням інших датчиків та спеціального програмного забезпечення.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Воловоденко М. С. Вихрострумний контроль теплообмінних труб парогенератора АЕС // Погляд у майбутнє приладобудування 2016 – IX Науково-практична конференція студентів і аспірантів – С. 156
2. Учанін В.М. Селективне виявлення дефектів у тонкостінних виробах із аустенітних сталей накладним вихрострумним перетворювачем// Фіз.-хім. Механіка матеріалів.–2015.–№3.– С. 15-17.
3. Учанін В.м. Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання. – Львів: СПОЛОМ, 2013. –208 с
4. Shchukis E., Lunin V Метод выделения сигналов от дефектов под конструктивными элементами теплообменных труб парогенератора// NDT days 2017,– С. 169-173.
5. Куц Ю. В. Статистична фазометрія / Ю.В. Куц, Л.М. Щербак – Тернопіль: Видавництво Тернопіль. технічного інституту імені Івана Пулюя, 2009. – 383с.

***Наук. керівник – д.т.н., проф. кафедри ПСНК Куц Ю.В.***